



REC'D 19 MAR 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 14 076.6

Anmeldetag: 28. März 2002

Anmelder/Inhaber: MergeOptics GmbH, Berlin/DE

Bezeichnung: Hetero-Bipolar-Transistor

Priorität: 25.1.2002 DE 102 03 965.8

IPC: H 01 L 29/737

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 3. März 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wehner

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Zusammenfassung

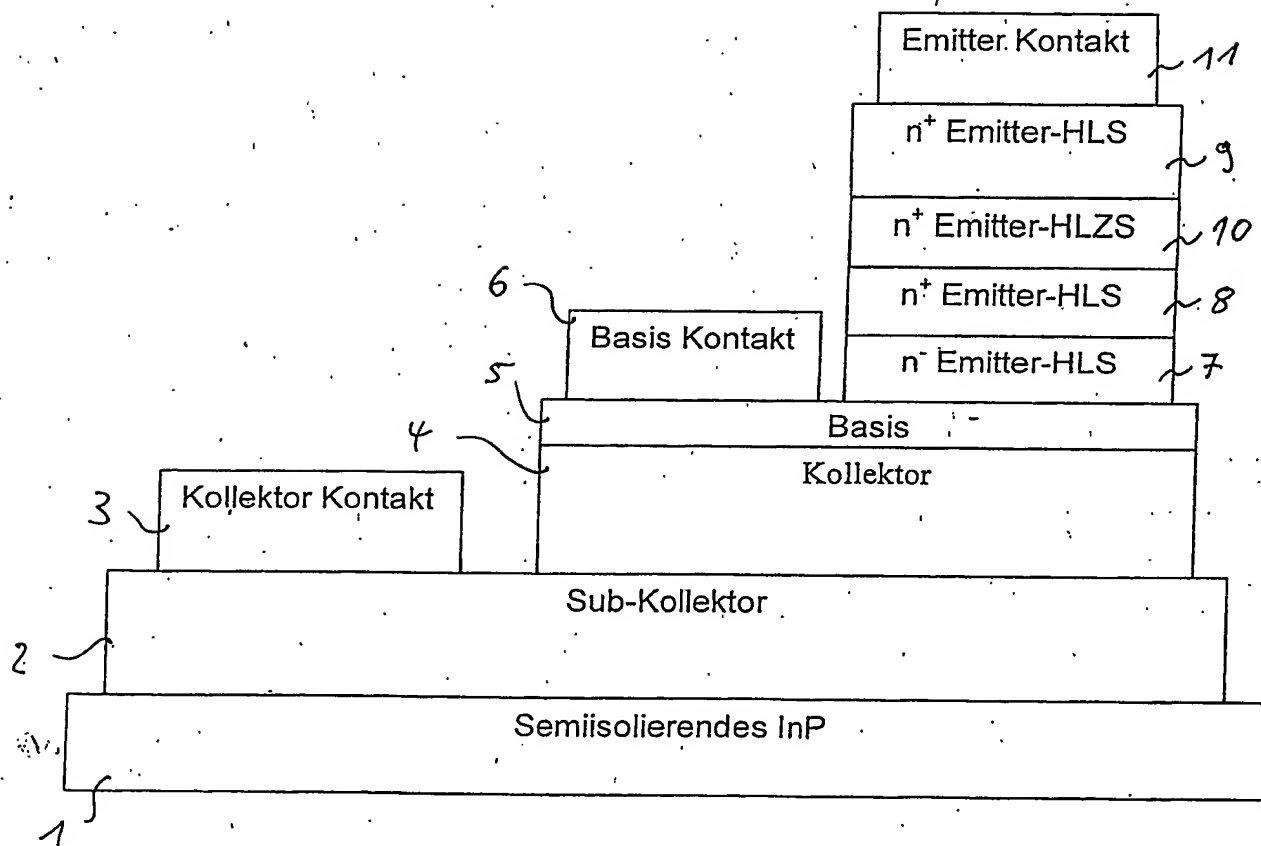
Die Erfindung bezieht sich auf einen Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter, welcher eine aus einem ersten Halbleitermaterial gebildete erste Halbleiterschicht (8) und einer aus einem zweiten Halbleitermaterial gebildete zweite Halbleiterschicht (9) umfaßt, wobei ein

5 Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials kleiner als ein Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist. Zwischen der ersten Halbleiterschicht (9) und der zweiten Halbleiterschicht (8) ist eine aus einem Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildete Halbleiterzwischenschicht (10) angeordnet und ein Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials ist größer als der Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und kleiner als der

Bandlückenwert der zweiten Halbleitermaterials. An der Grenzfläche zwischen zwei Halbleitermaterialien mit unterschiedlichen Bandlückenwerten bildet sich eine Potentialbarriere aus, die von einem Elektronenstrom zu durchtunneln ist. Die an den Grenzflächen der Halbleiterzwischenschicht (10) auftretenden Energiebarrieren sind für Elektronen gemeinsam leichter zu durchtunneln als eine sich an einer Grenzfläche zwischen der ersten Halbleiterschicht (9)

15 und der zweiten Halbleiterschicht (10) ohne eine dazwischen angeordnete Halbleiterzwischenschicht ausbildende Energiebarriere. Somit wird mittels der Erfindung der Widerstand der Hetero-Bipolar-Transistor-Emitteranordnung gesenkt. (Figur 1).

Fig. 1



5

BOEHMERT & BOEHMERT

ANWALTSSOZIOZETÄT

Boehmert & Boehmert • Meinekestraße 26 • D-10719 Berlin

Deutsches Patent- und Markenamt
Zweibrückenstr. 12

80297 München

DR.-ING. KARL BOEHMERT, PA (1899-1977)
DIPLO.-ING. ALBERT BOEHMERT, PA (1902-1993)
WILHELM J. H. STAHLBERG, RA, Bremen
DR.-ING. WALTER HOCHMANN, PA*, Bremen
DIPLO.-PHYS. DR. HEINZ GÖDDAR, PA*, München
DR.-ING. ROLAND LIESEGANG, PA*, München
WOLF-DIETER KUNTZE, RA, Bremen, Alicante
DIPLO.-PHYS. ROBERT MÜNZHUBER, PA (1923-1992)
DR. LUDWIG KÖRNER, RA, Bremen
DR. (CHEM.) ANDREAS WINKLER, PA*, Bremen
MICHAELA RUTH-DIERIG, RA, München
DIPLO.-PHYS. DR. MARION TONHARDT, PA*, Düsseldorf
DR. ANDREAS EBERT-WEIDENFELDER, RA, Bremen
DIPLO.-ING. EVA LIESEGANG, PA*, München
DR. AXEL NORDEMANN, RA, Berlin
DIPLO.-PHYS. DR. DOROTHEA WEBER-BRULS, PA*, Frankfurt
DIPLO.-PHYS. DR. STEFAN SCHOHE, PA*, München
DR.-ING. MATTHIAS PHILIPP, PA*, Bielefeld
DR. MARTIN WIRTZ, RA, Düsseldorf
DR. DETMAR SCHÄFER, RA, Bremen
DR. JAN BERNHARD NORDEMANN, LL.M., RA, Berlin
DR. CHRISTIAN CZYCHOWSKI, RA, Berlin
DR. CARL-RICHARD HAARMANN, RA, München
DIPLO.-PHYS. CHRISTIAN W. APFELT, PA*, München

PROF. DR. WILHELM NORDEMANN, RA, RA, RA
DIPLO.-PHYS. EDUARD BAUMANN, PA*, Hohenkirchen
DR.-ING. GERALD KLOPSCHE, PA*, Düsseldorf
DIPLO.-ING. HANS W. GROENING, PA*, München
DIPLO.-ING. SIEGFRIED SCHIRMER, PA*, Bielefeld
DIPLO.-PHYS. LORENZ HANSENWINKEL, PA*, Potsdam
DIPLO.-ING. ANTON FRIEDRICH RIEDERER V. PAAR, PA*, Landshut
DIPLO.-ING. DR. JAN TONNES, PA, RA, Kitz
DIPLO.-PHYS. CHRISTIAN BEHRE, PA, Kitz
DIPLO.-PHYS. DR.-ING. UWE MANASSE, PA*, Bremen
DIPLO.-PHYS. DR. THOMAS L. BITTNER, PA*, Berlin
DR. VOLKER SCHMITZ, M. Juris (Oxford), RA, München
DR. ANKE NORDEMANN-SCHIFFEL, RA*, Potsdam
KERSTIN MAUCH, LL.M., RA, Potsdam
DIPLO.-BIOL. DR. JAN B. KRAUSS, PA, München
JÜRGEN ALBRECHT, RA, München
DR. KLAUS TIM BRÖCKER, RA, Berlin
DR. ANDREAS DUSTMANN, LL.M., RA, Potsdam
DIPLO.-ING. NIKS T. P. SCHÖN, PA*, München
FLORIAN SCHWAB, LL.M., RA*, München
DIPLO.-BIOCHEM. DR. MARKUS ENGELHARD, PA, München
DIPLO.-CHEM. DR. KARL-HEINZ B. METTEN, PA*, Potsdam
DIPLO.-ING. DR. STEFAN TARUTIS, PA, Düsseldorf
PASCAL DECKER, RA, Potsdam

In Zusammenarbeit mit/in cooperation with
DIPLO.-CHEM. DR. HANS ULRICH MAY, PA*, München

PA - Patentanwalt/Patent Attorney
RA - Rechtsanwalt/Attorney at Law
• - European Patent Attorney
• - Brandenburg, zugelassen am OLG Brandenburg
• - Maître en Droit
• - Licencié en Droit
Alle zugelassen zur Vertretung vor dem Europäischen Markenamt, Alicante
Professional Representatives at the Community Trademark Office, Alicante

Ihr Zeichen
Your ref.

Ihr Schreiben
Your letter of

Unser Zeichen
Our ref.

Berlin,

Neuanmeldung
(Patent)

M60069

26. März 2002

MergeOptics GmbH
Am Borsigturm 17
13507 Berlin

5

Hetero-Bipolar-Transistor

Die Erfindung betrifft einen Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter, welcher eine aus einem ersten Halbleitermaterial gebildete erste Halbleiterschicht und eine aus einem zweiten Halbleitermaterial gebildete zweite Halbleiterschicht umfaßt, wobei ein Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials kleiner als ein Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist.

Hetero-Bipolar-Transistoren (HBT) weisen eine Reihe von Vorteilen auf. Besonders das sehr gute Frequenzverhalten hat dazu geführt, daß Hetero-Bipolar-Transistoren vermehrt in Hoch-

6
frequenzschaltungen eingesetzt werden, die zum Beispiel in der Mobilfunktechnik benötigt werden. Die mit Hetero-Bipolar-Transistoren erreichbaren Schaltfrequenzen liegen oberhalb von 100GHz.

Es werden häufig Hetero-Bipolar-Transistoren verwendet, die auf der III-V-Halbleitertechnologie basieren. Ein Emitter eines bekannten npn InP-Hetero-Bipolar-Transistors umfaßt eine Abfolge von aneinander grenzenden Halbleiterschichten. Eine erste n⁺-dotierte Emitter-Halbleiterschicht weist einen geringen Bandlückenwert auf. Ein Halbleitermaterial mit einem geringen Bandlückenwert ist zum Beispiel InGaAs. Die eine Seite der ersten Emitter-Halbleiterschicht ist metallisch kontaktiert. Als nächste Emitter-Halbleiterschicht grenzt eine n⁺-dotierte Halbleiterschicht an, die einen großen Bandlückenwert aufweist. Materialien mit einem großen Bandlückenwert sind zum Beispiel InP und InAlAs. Die sich anschließende n⁺-dotierte Emitter-Halbleiterschicht aus dem gleichen Halbleitermaterial mit großer Bandlücke grenzt an eine p⁺-dotierte Basisschicht mit geringer Bandlücke an. Als Material für die Basischicht wird häufig InGaAs verwendet.

15 An den Emitter-Halbleiterschicht-Grenzen InP/InGaAs bzw. InAlAs/InGaAs entsteht ein Leitungsbandsprung, der eine dünne hohe Barriere für Elektronen darstellt. Diese Barriere muß von den Leitungsbandlektronen durchtunnelt werden. Eine solche Energiebarriere stellt jedoch eine Behinderung des Elektronenflusses und somit des Stromflusses dar. Die Energiebarriere erhöht den Emitterwiderstand und begrenzt dadurch den maximalen Emitterstrom.

20 In der Elektronik wird an jedem stromdurchflossenen Widerstand Wärme erzeugt. Somit führt auch die Energiebarriere, die einen parasitären Widerstand des Emitters darstellt, zu einem erhöhten Leistungsverbrauch des Hetero-Bipolar-Transistors. Insbesondere im Hinblick auf eine Miniaturisierung der Schaltungen wirkt sich eine Erwärmung der Transistoren im Betrieb nachteilig aus. Darüber hinaus wird durch den parasitären Widerstand des Emitters die maximale Schaltfrequenz des Transistors gesenkt und das Rauschen erhöht.

25

Aufgabe der Erfindung ist es, einen verbesserten Hetero-Bipolar-Transistor mit einer Emitterstruktur zu schaffen, die den parasitären Widerstand senkt.

Diese Aufgabe wird bei einem Hetero-Bipolar-Transistor der eingangs genannte Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zwischen der ersten Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht eine aus einem Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildete Halbleiterzwischenschicht angeordnet ist und ein Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials größer als der Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist.

Der Emitter eines erfindungsgemäßen Hetero-Bipolar-Transistors weist mindestens zwei Bandlückenwertsprünge auf, die jeweils kleiner sind, als der Bandlückenunterschied zwischen dem Bandlückenwert der ersten Halbleiterschicht und dem Bandlückenwert der zweiten Halbleiterschicht. Die zwischen der ersten Halbleiterschicht und der Halbleiterzwischenschicht sowie zwischen der Halbleiterzwischenschicht und der zweiten Halbleiterschicht auftretenden Energiebarrieren sind jeweils kleiner als die Energiebarriere zwischen der ersten Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht bei einem bekannten Hetero-Bipolar-Transistor. Da die Tunnelwahrscheinlichkeit der Elektronen durch eine Energiebarriere exponentiell von der Barrierenhöhe abhängt, ist die Wahrscheinlichkeit für das Durchtunneln zweier kleiner Energiebarrieren größer als die Wahrscheinlichkeit des Durchtunnelns einer großen Barriere, deren Barrierenhöhe gleich der Summe der Barrierenhöhen der beiden kleinen Barrieren ist. Somit weist der verbesserte Hetero-Bipolar-Transistor einen kleineren Emitterwiderstand als bekannte Hetero-Bipolar-Transistoren auf.

Ein verringerter Emitterwiderstand führt beim Betrieb des Hetero-Bipolar-Transistors zu einer geringeren Erwärmung und senkt die Verlustleistung. Die Rauscheigenschaften werden verbessert und zusätzlich erhöht sich die maximale Schaltfrequenz des Hetero-Bipolar-Transistors.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, daß das Zwischenschicht-Halbleitermaterial zu dem ersten Halbleitermaterial oder/und dem zweiten Halbleitermaterial gitterangepaßt ist. Dies bietet den Vorteil, daß sich keine Fehlstellen in der Halbleiterzwischen-schicht bzw. der ersten Halbleiterschicht oder der zweiten Halbleiterschicht bilden.

5 Fehlstellen in einem Halbleitermaterial erhöhen den parasitären Widerstand des Halbleitermaterials. Durch die Gitteranpassung wird somit der Emitterwiderstand weiter gesenkt.

Ferner kann es vorteilhaft sein, daß der Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials gleich der Hälfte der Summe des Bandlückenwerts des ersten Halbleitermaterials und des Bandlückenwerts des zweiten Halbleitermaterials ist. Hierdurch wird die Tunnel-wahrscheinlichkeit durch die beiden an den Grenzflächen der Halbleiterzwischen-schicht auf-tretenden Barrieren optimiert, und somit wird der durch die beiden Energiebarrieren bedingte Emitterwiderstand minimal.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung können vorsehen, daß das erste Halbleitermaterial InGaAs, das zweite Halbleitermaterial InP und das Zwischenschicht-

15 Halbleitermaterial InGaAsP umfaßt, oder, daß das erste Halbleitermaterial InGaAs, das zweite Halbleitermaterial InAlAs und das Zwischenschicht-Halbleitermaterial AlGaInAs umfaßt. Dies bietet den Vorteil, daß der Bandlückenwert der ersten Halbleiterzwischen-schicht durch eine Variation der Zusammensetzung der Elemente Indium, Gallium, Arsen und Phosphor bzw. der Elemente Aluminium, Gallium, Indium und Arsen der Bandlückenwert der ersten Halbleiterzwischen-schicht variiert werden kann.

Eine andere vorteilhafte Fortbildung der Erfindung kann vorsehen, daß zwischen der ersten Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht eine von der Halbleiterzwischen-schicht und mindestens einer weiteren aus einem weiteren Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebil-

25 Halbleiterzwischen-schichten angeordnet ist, die mindestens eine weitere Halbleiterzwischen-schicht zwischen der Halbleiterzwischen-schicht und der zweiten Halbleiterschicht angeordnet ist, und ein Bandlückenwert des weiteren Zwischenschicht-Halbleitermaterials größer als der

Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist. Dies bietet den Vorteil, daß mindestens drei Energiebarrieren im Emitter auftreten. Das Durchtunneln von mindestens drei Barrieren ist im Vergleich zum Durchtunneln von zwei Barrieren wahrscheinlicher, wenn die Barrierenhöhen­summe der mindestens drei Energiebarrieren gleich der Barrierenhöhen­summe der zwei Energiebarrieren ist. Ein Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter mit einer Halbleiterzwischenschicht und mindestens einer weiteren Halbleiterzwischenschicht weist somit einen geringeren Emitterwiderstand auf als ein HBT mit nur einer Halbleiterzwischenschicht.

Bei einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen, daß das erste Halbleitermaterial einen Bandlückenwert B_e , das zweite Halbleitermaterial einen Bandlückenwert B_z und ein Zwischenschicht-Halbleitermaterial einer j-ten der n Halbleiterzwischenschichten ($2 \leq j \leq n$) einen Bandlückenwert B_j aufweist, für den gilt: $B_j = B_e + j \cdot (1/(1+n)) \cdot (B_z - B_e)$. Hierdurch wird die Gesamttunnelwahrscheinlichkeit eines Elektrons in einem Emitters eines Hetero-Bipolar-Transistors mit n Halbleiterzwischenschichten optimiert.

15 Eine weitere Fortbildung der Erfindung sieht vor, daß die Anzahl n der die Folge bildenden Halbleiterzwischenschichten so gewählt ist, daß die Anzahl n der die Folge bildenden Halbleiterzwischenschichten so gewählt ist, daß mittels der Bandlückenwerten der zwischen dem ersten Halbleitermaterial und dem zweiten Halbleitermaterial angeordneten Zwischenschichten-Halbleitermaterialien einen quasi linearen Übergang zwischen dem Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und dem Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials gebildet ist. Ein solcher Hetero-Bipolar-Transistor weist einen minimalen Emitterwiderstand auf, der auf die Bandlückenwertunterschiede zurückgeführt werden kann.

25 Eine Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, daß die erste Halbleiterschicht metallisch kontaktiert ist. Die metallische Kontaktierung ermöglicht es, den Emitterstrom des Hetero-Bipolar-Transistors abzuführen.

Eine zweckmäßige Weiterbildung kann darin bestehen, daß an die zweite Halbleiterschicht eine weitere Halbleiterschicht angrenzt und die weitere Halbleiterschicht an eine Basis an-

grenzt. Dies eröffnet die Möglichkeit, daß die weitere Halbleiterschicht, die an die Basis angrenzt, eine andere Dotierung als die zweite Halbleiterschicht aufweisen kann.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf eine Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

5 Figur 1 einen schematischen Querschnitt eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter;

Figur 2 einen schematischen Querschnitt einer anderen Ausführungsform eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter;

10 Figur 2 einen schematischen Querschnitt einer weiteren Ausführungsform eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter;

Figur 4a den schematischen Verlauf des Leitungsbands eines konventionellen Emitters;

Figur 4b den schematischen Verlauf des Leitungsbands eines stufengraduierten Emitters; und

15 Figur 4c den schematischen Verlauf des Leitungsbands eines homogen graduierten Emitters.

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter. Ein Hetero-Bipolar-Transistor umfaßt mehrere epitaktisch aufeinander aufgewachsene Schichten. Auf einer semiisolierenden InP-Schicht 1 ist ein Sub-Kollektor 2 angeordnet. An den Sub-Kollektor grenzt ein Kollektor Kontakt 3 sowie ein Kollektor 4 an. An den Kollektor 4 grenzt eine p-dotierte Basisschicht 5 an. Eine dem Kollektor abgewandte Seite der Basisschicht 5 weist einen Basis-Kontakt 6 und eine Grenzfläche zu

20

einer n-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 7 (Emitter-HLS) auf. Die Basisschicht umfaßt in der Regel ein Halbleitermaterial mit einem geringen Bandlückenwert, wie zum Beispiel InGaAs. Die n-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 7 umfaßt ein Halbleitermaterial mit einem großen Bandlückenwert. Solche Materialien sind zum Beispiel InP und InAlAs. An die n-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 7 schließt sich eine n+-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 8 an, die ein Halbleitermaterial mit einem großen Bandlückenwert umfaßt. In der Regel ist das Halbleitermaterial der n-dotierten Emitter-Halbleiterschicht 7 und der n+-dotierten Emitter-Halbleiterschicht 8 identisch. Zwischen die n+-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 8 mit großem Bandlückenwert und eine n+-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 9 mit einem geringeren Bandlückenwert, die den Abschluß der aufeinander angeordneten epitaktisch aufgewachsenen Emitter-Schichten darstellt, ist eine n+-dotierte Emitter-Halbleiterzwischenschichten 10 (Emitter-HLZS) angeordnet. Dabei ist der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10 größer als der Bandlückenwert der n+-dotierten Emitter-Halbleiterschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert und kleiner als der Bandlückenwert der n+-dotierten Emitter-Halbleiterschicht 8 mit dem großem Bandlückenwert. Auf einer Seite der n+-dotierten Emitter-Halbleiterschicht 9 ist ein metallischen Emitter-Kontakt 11 angeordnet.

Die in Figur 2 gezeigte Ausführungsform eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter unterscheidet sich von der Ausführungsform der Figur 1 dadurch, daß zwischen der Emitter-Halbleiterschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert und der Emitter-Halbleiterschicht 8 mit dem großen Bandlückenwert zwei Emitter-Halbleiterzwischenschichten 21, 22 angeordnet sind. Die Bandlückenwerte weisen dabei folgende Werte auf: Der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 21 ist größer als der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 9 und kleiner als der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 22. Der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 22 ist seinerseits größer als der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 21 und kleiner als der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 8. Die beiden Emitter-Halbleiterzwischenschichten können unterschiedliche Halbleitermaterialien oder das gleiche Halbleitermaterial umfassen.

Eine weitere Ausführungsform eines Hetero-Bipolar-Transistors ist in Figur 3 dargestellt. Bei dieser Ausführungsform ist eine Folge von n ($n \geq 2$) Emitter-Halbleiterzwischenschichten 31, 32, 33 zwischen der n^+ -dotierten Emitter-Halbleiterzwischenschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert und der n^+ -dotierten Emitter-Halbleiterzwischenschicht 8 mit dem großen Bandlückenwert angeordnet. Einer j -ten Emitter-Halbleiterzwischenschicht 32 ($1 \leq j \leq n$) weist ein Bandlückenwert B_j auf, für den gilt: $B_{j-1} \leq B_j \leq B_{j+1}$, wobei B_0 ein Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert und B_{n+1} ein Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 8 mit dem großen Bandlückenwert ist. Wie bei der Ausführungsform nach Figur 2 können die Emitter-Halbleiterzwischenschichten 31, 32, 33 unterschiedliche Halbleitermaterialien oder das gleiche Halbleitermaterial umfassen.

Bei einem Hetero-Bipolar-Transistor nach dem Stand der Technik tritt an einer Grenzfläche zwischen der n^+ -dotierten Halbleiterschicht mit großem Bandlückenwert und einer n^+ -dotierten Emitter-Halbleiterschicht mit einem geringeren Bandlückenwert eine Leitungsbanddiskontinuität auf. Solch ein schematischer Leitungsbandverlauf ist in Figur 4a dargestellt. Dabei stellt InGaAs ein Halbleitermaterial mit einem geringen Bandlückenwert und InP ein Halbleitermaterial mit einem großen Bandlückenwert dar. Die dargestellte Energiebarriere muß von Elektronen im Betrieb durchtunnelt werden.

In Figur 4b ist der Leitungsbandverlauf eines stufengraduierten Emitters gemäß Figur 1 mit einer Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10 dargestellt. In diesem Ausführungsbeispiel umfaßt die Emitter-Halbleiterschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert InGaAs, die Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10 InGaAsP und die Emitter-Halbleiterschicht 8 mit dem großen Bandlückenwert InP. Bei der dargestellten Ausführungsform ist der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10, InGaAsP, gleich der Hälfte der Summe aus dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 9, InGaAs, mit dem geringen Bandlückenwert und dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 8, InP, mit dem großen Bandlückenwert. An den beiden Grenzflächen der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10, InGaAsP, treten zwei dünne Energiebarrieren auf, deren Barrierenhöhen halb so groß sind, wie die Barrieren-

höhe der in Figur 4a dargestellten Energiebarriere. Da die Barrierenhöhe exponentiell in die Tunnelwahrscheinlichkeit eingeht, ist es für ein Elektron wahrscheinlicher, zwei halbhohe Energiebarrieren zu durchtunneln als eine Energiebarriere mit voller Höhe. Daher weist ein stufengraduierter Emitter einen geringeren Widerstandswert auf als ein Emitter eines HBTs nach dem Stand der Technik.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Ausführungsform nach Figur 1 kann vorsehen, daß der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht einen Bandlückenwert aufweist, dessen Differenz zu der n^+ -dotierten Emitter-Halbleiterschicht mit dem geringeren Bandlückenwert kleiner/größer als die Differenz zu dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht mit dem großem Bandlückenwert ist. Die an den Grenzflächen der Emitter-Halbleiterzwischenschicht entstehenden Energiebarrieren sind in dieser Ausführungsform ungleich hoch. Dadurch kann der Widerstandswert des Emitters variiert werden.

Bei den Ausführungsformen nach den Figuren 2 und 3 treten im Emitter an mehr als zwei Grenzflächen Bandlückenwertdiskontinuitäten auf. Dabei wird die Energiebarrierenhöhe, die in einem Emitter eines HBTs nach dem Stand der Technik auftritt, auf die größere Anzahl kleiner Barrieren „verteilt“, wobei die Gesamtsumme der kleinen Barrierenhöhen eine Gesamtbarrierenhöhe ergibt, die gleich der Energiebarrierenhöhe in einem Emitter nach dem Stand der Technik ist. Durch die „Verteilung“ der Gesamtbarrierenhöhe auf eine größere Anzahl kleinerer Barrieren wird die Gesamttunnelwahrscheinlichkeit eines Elektrons durch alle Energiebarrieren weiter gesenkt.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Ausführungsform der Figur 3 kann vorsehen, daß die Differenz zwischen dem Bandlückenwerten zweier aneinander grenzender Emitter-Halbleiterzwischenschichten gleich $1/(n+1)$ -tel der Differenz des Bandlückenwerts der Emitter-Halbleiterschicht mit dem großen Bandlückenwert und des Bandlückenwerts der Emitter-Halbleiterschicht mit dem geringen Bandlückenwert ist.

Wird die Zahl der Emitter-Halbleiterzwischenschichten n groß genug gewählt, so erhält man einen homogen gradierten Emitter. Der schematische Verlauf des Leitungsbandes für einen solchen homogen gradierten Emitter ist in Figur 4c dargestellt. Der Widerstandsanteil des Emitterwiderstands, der auf die Änderung des Bandlückenwerts entlang des Emitters zurückzuführen ist, wird bei einem homogen gradierten Emitter minimal. In einem homogen gradierten Emitter kann man einen quasi linearen Übergang der Bandlückenwerte entlang der Emitter-Halbleiterzwischenschichten von dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht mit dem geringen Bandlückenwert zu dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht mit dem großen Bandlückenwert erhalten.

Für alle beschriebenen Ausführungsformen ist es vorteilhaft, wenn die Emitter-Halbleiterzwischenschichten jeweils möglichst gut an ihre angrenzenden Emitter-Halbleiterschichten bzw. Emitter-Halbleiterzwischenschichten gitterangepaßt sind. Dadurch wird das auftreten von Fehlstellen an den Grenzflächen und in den Emitter-Halbleiterzwischenschichten bzw. Emitter-Halbleiterschichten verhindert, die zu einem parasitären Widerstand der Emitter führen.

Die angegebenen Halbleitermaterialien in der vorstehenden Beschreibung stellen lediglich Beispiele dar. Eine mögliche Ausführungsform kann vorsehen, daß die Emitter-Halbleiterschicht mit dem geringen Bandlückenwert InGaAs, die Emitter-Halbleiterzwischenschicht AlGaInAs und die Emitter-Halbleiterschicht mit dem großen Bandlückenwert AlInAs umfaßt. Wie der Fachmann erkennt, können die Emitter-Halbleiterschichten bzw. Emitter-Halbleiterzwischenschichten auch andere Materialien wie GaAs und SiGe, usw. umfassen.

Wie beschrieben liefert die Erfindung einen Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter, dessen Emitterwiderstand klein gegenüber dem Emitterwiderstand von Hetero-Bipolar-Transistoren gemäß dem Stand der Technik ist. Dieses Senken des Emitterwiderstandes reduziert den Leistungsverbrauch, die Eigenerwärmung und das Rauschen in einer Schaltung, in der Hetero-Bipolar-Transistoren eingesetzt werden. Ferner führt die Verringerung des Emit-

15
terwiderstandes dazu, daß die Grenz- und Schaltfrequenz des Hetero-Bipolar-Transistors erhöht wird.

Die in der vorstehenden Beschreibung, der Zeichnung und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die

- 5 Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen von Bedeutung sein.

16

BOEHMERT & BOEHMERT

ANWALTSSOZIELTÄT

Boehmert & Boehmert • Meinekestraße 26 • D-10719 Berlin

Deutsches Patent- und Markenamt
Zweibrückenstr. 12

80297 München

DR.-ING. KARL BOEHMERT, PA (1898-1972)
DIP.-ING. ALBERT BOEHMERT, PA (1902-1993)
WILHELM J. H. STAHLBERG, RA, Bremen
DR.-ING. WALTER HOGGMANN, PA*, Bremen
DIP.-PHYS. DR. HEINZ GODDAR, PA*, München
DR.-ING. ROLAND LIESEGANG, PA*, München
WOLF-DIETER KUNTZE, RA, Bremen, Altona
DIP.-PHYS. ROBERT MÜNZHUBER, PA (1913-1993)
DR. LUDWIG KOUKER, RA, Bremen
DR. (CHEM.) ANDREAS WINKLER, PA*, Bremen
MICHAELA KUTH-DIERIG, RA, München
DIP.-PHYS. DR. MARION TONHARDT, PA*, Düsseldorf
DR. ANDREAS EBERT-WEIDENFELDER, RA, Bremen
DIP.-ING. EVA LIESEGANG, PA*, München
DR. AXEL NORDEMANN, RA, Berlin
DIP.-PHYS. DR. DOROTHEA WEBER-BRULS, PA*, Frankfurt
DIP.-PHYS. DR. STEFAN SCHOE, PA*, München
DR.-ING. MATTHIAS PHILIPP, PA*, Bielefeld
DR. MARTIN WIRTZ, RA, Düsseldorf
DR. DETMAR SCHÄFER, RA, Bremen
DR. JAN BERND NORDEMANN, LL.M., RA, Berlin
DR. CHRISTIAN CZYCHOWSKI, RA, Berlin
DR. CARL-RICHARD HAARMANN, RA, München
DIP.-PHYS. CHRISTIAN W. APPELT, PA*, München

PROF. DR. WILHELM NORDEMANN, RA, BSB
DIP.-PHYS. EDUARD BAUMANN, PA*, Hohenkirchen
DR.-ING. GERALD KLÖPSCH, PA*, Düsseldorf
DIP.-ING. HANS W. GROEDING, PA*, München
DIP.-ING. SIEGFRIED SCHIRMER, PA*, Bielefeld
DIP.-PHYS. LORENZ HANSENWINKEL, PA*, Potsdam
DIP.-ING. ANTON FRIEDRICH RIEDERER V. PAAR, PA*, Landshut
DIP.-ING. DR. JAN TÖNNIES, RA, RA, Kiel
DIP.-PHYS. CHRISTIAN BIEHL, PA*, Kiel
DIP.-PHYS. DR.-ING. UWE MANASSE, PA*, Bremen
DIP.-PHYS. DR. THOMAS L. BITTNER, PA*, Berlin
DR. VOLKER SCHMITZ, M. Juris (Oxford), RA, München
DR. ANKE NORDEMANN-SCHIFFEL, RA, Potsdam
KERSTIN MAUCH, LL.M., RA, Potsdam
DIP.-BIOL. DR. JAN B. KRAUSS, PA, München
JÖRGEN ALBRECHT, RA, München
DR. KLAUS TIM BRÖCKER, RA, Berlin
DR. ANDREAS DUSTMANN, LL.M., RA, Potsdam
DIP.-ING. NILS T. F. SCHMIDT, PA*, München
FLORIAN SCHWAB, LL.M., RA, München
DIP.-BIOCHEM. DR. MARKUS ENGELHARD, PA, München
DIP.-CHEM. DR. KARL-HEINZ B. METTEN, PA*, Frankfurt
DIP.-ING. DR. STEFAN TARUTIS, PA, Düsseldorf
PASCAL DECKER, RA, Potsdam

In Zusammenarbeit mit/in cooperation with
DIP.-CHEM. DR. HANS ULRICH MAY, PA*, München

PA - Patentanwalt/Patent Attorney
RA - Rechtsanwalt/Attorney at Law
• - European Patent Attorney
A - Brandenburg, zugelassen am OLG Brandenburg
n - Maître en Droit
e - Licencié en Droit
Alle zugelassen zur Vertretung vor dem Europäischen Markenamt, Alicante
Professional Representation at the Community Trademark Office, Alicante

Ihr Zeichen
Your ref.

Ihr Schreiben
Your letter of

Unser Zeichen
Our ref.

Berlin,

Neuanmeldung
(Patent)

M60069

26. März 2002

MergeOptics GmbH
Am Borsigturm 17
13507 Berlin

5

Hetero-Bipolar-Transistor

Ansprüche

- 10 1. Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter, welcher eine aus einem ersten Halbleitermaterial gebildete erste Halbleiterschicht (9) und eine aus einem zweiten Halbleitermaterial gebildete zweite Halbleiterschicht (8) umfaßt, wobei ein Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials kleiner als ein Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der ersten Halbleiterschicht (9) und der
- 15 zweiten Halbleiterschicht (8) eine aus einem Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildete

Halbleiterzwischenschicht (10) angeordnet ist und ein Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials größer als der Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist.

2. Hetero-Bipolar-Transistor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Zwischenschicht-Halbleitermaterial zu dem ersten Halbleitermaterial oder/und dem zweiten Halbleitermaterial gitterangepaßt ist.
3. Hetero-Bipolar-Transistor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials gleich der Hälfte der Summe des Bandlückenwerts des ersten Halbleitermaterials und des Bandlückenwerts des zweiten Halbleitermaterials ist.
4. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Halbleitermaterial InGaAs, das zweite Halbleitermaterial InP und das Zwischenschicht-Halbleitermaterial InGaAsP umfaßt.
5. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Halbleitermaterial InGaAs, das zweite Halbleitermaterial InAlAs und das Zwischenschicht-Halbleitermaterial AlGaInAs umfaßt.
6. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der ersten Halbleiterschicht (9) und der zweiten Halbleiterschicht (8) eine von der Halbleiterzwischenschicht (31) und mindestens einer weiteren aus einem weiteren Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildeten Halbleiterzwischenschicht (32) gebildete Folge von n ($n \geq 2$) stapelartig angeordneten Halbleiterzwischenschichten (31, 32, 33) angeordnet ist, die mindestens eine weitere Halbleiterzwischenschicht (32) zwischen der Halbleiterzwischenschicht (31) und der zweiten Halbleiterschicht (8) angeordnet ist, und ein Bandlückenwert des weiteren Zwischenschicht-Halbleitermaterials größer als der Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist.

7. Hetero-Bipolar-Transistor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Halbleitermaterial einen Bandlückenwert B_e , das zweite Halbleitermaterial einen Bandlückenwert B_z und ein Zwischenschicht-Halbleitermaterial einer j-ten der n Halbleiterzwischenschichten ($2 \leq j \leq n$) einen Bandlückenwert B_j aufweist, für den gilt:

5 $B_j = B_e + j \cdot (1/(1+n)) \cdot (B_z - B_e).$

8. Hetero-Bipolar-Transistor nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl n der die Folge bildenden Halbleiterzwischenschichten (31, 32, 33) so gewählt ist, daß mittels der Bandlückenwerten der zwischen dem ersten Halbleitermaterial und dem zweiten Halbleitermaterial angeordneten Zwischenschichten-Halbleitermaterialien einen quasi linearen Übergang zwischen dem Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und dem Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials gebildet ist.

9. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht (9) metallisch kontaktiert ist.

10. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an die zweite Halbleiterschicht (8) auf einer von den Halbleiterzwischenschichten (10, 21, 22, 31, 32, 33) abgewandten Seite eine weitere Halbleiterschicht (7) angrenzt und die weitere Halbleiterschicht (7) an eine Basis (5) angrenzt.

28.03.09

14

Fig. 1

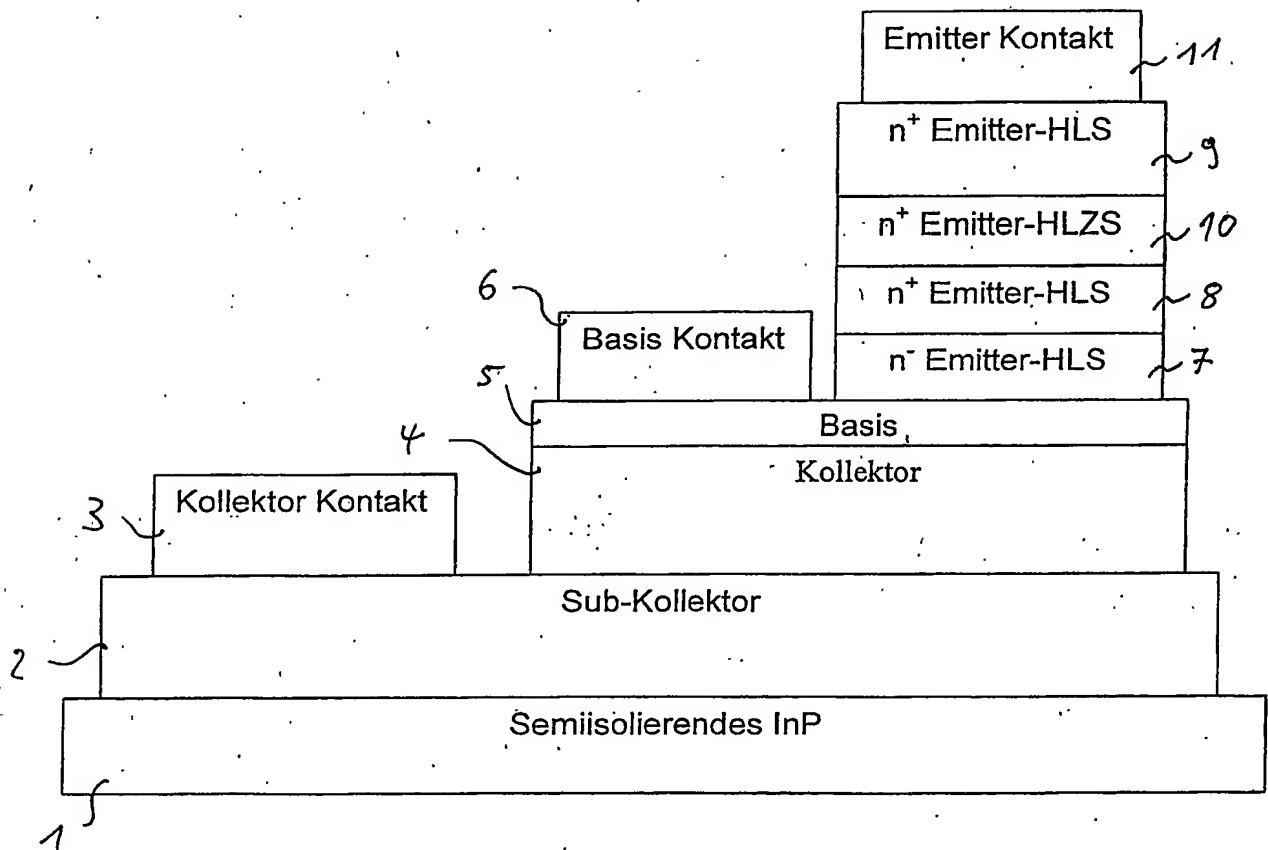


Fig. 2

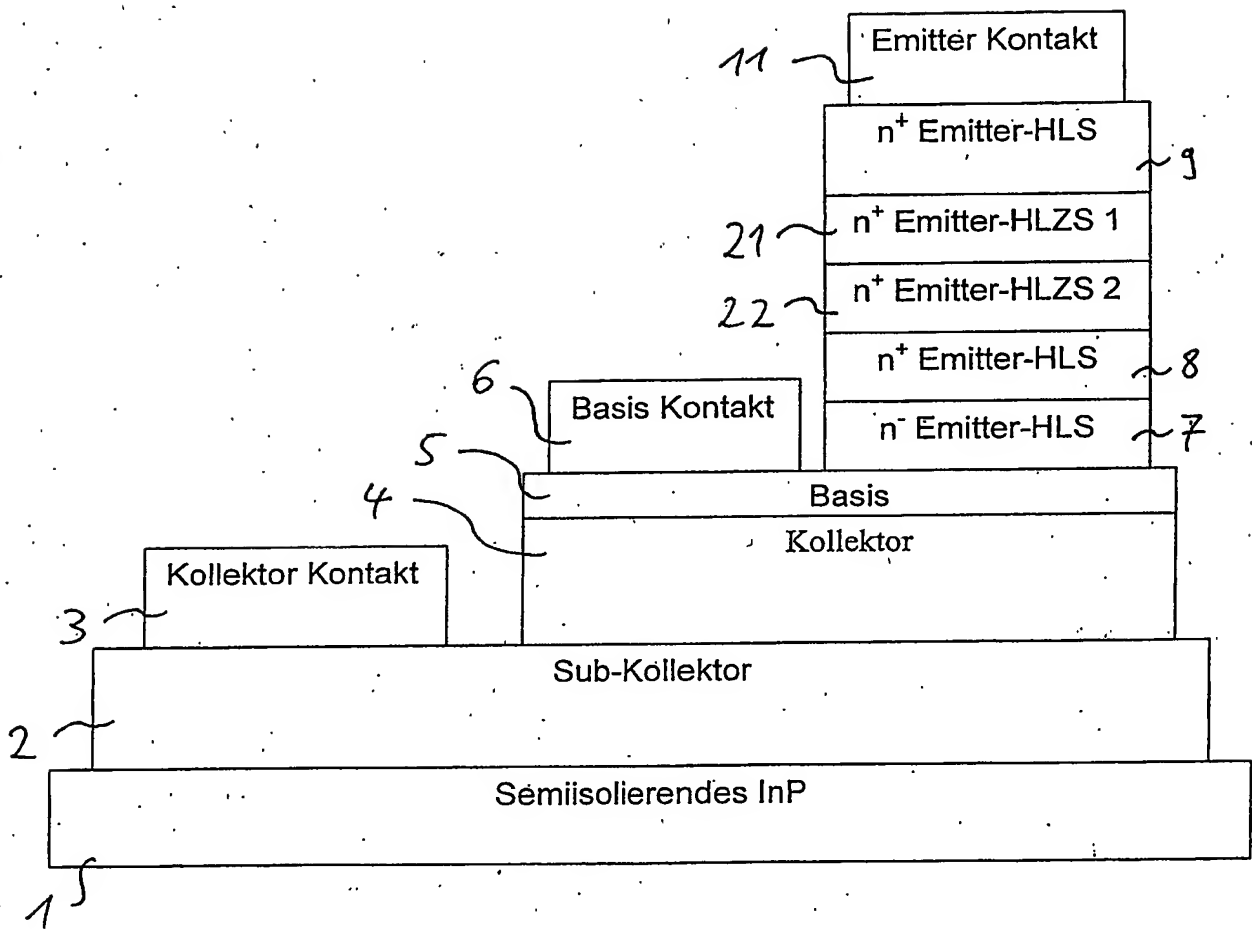


Fig. 3

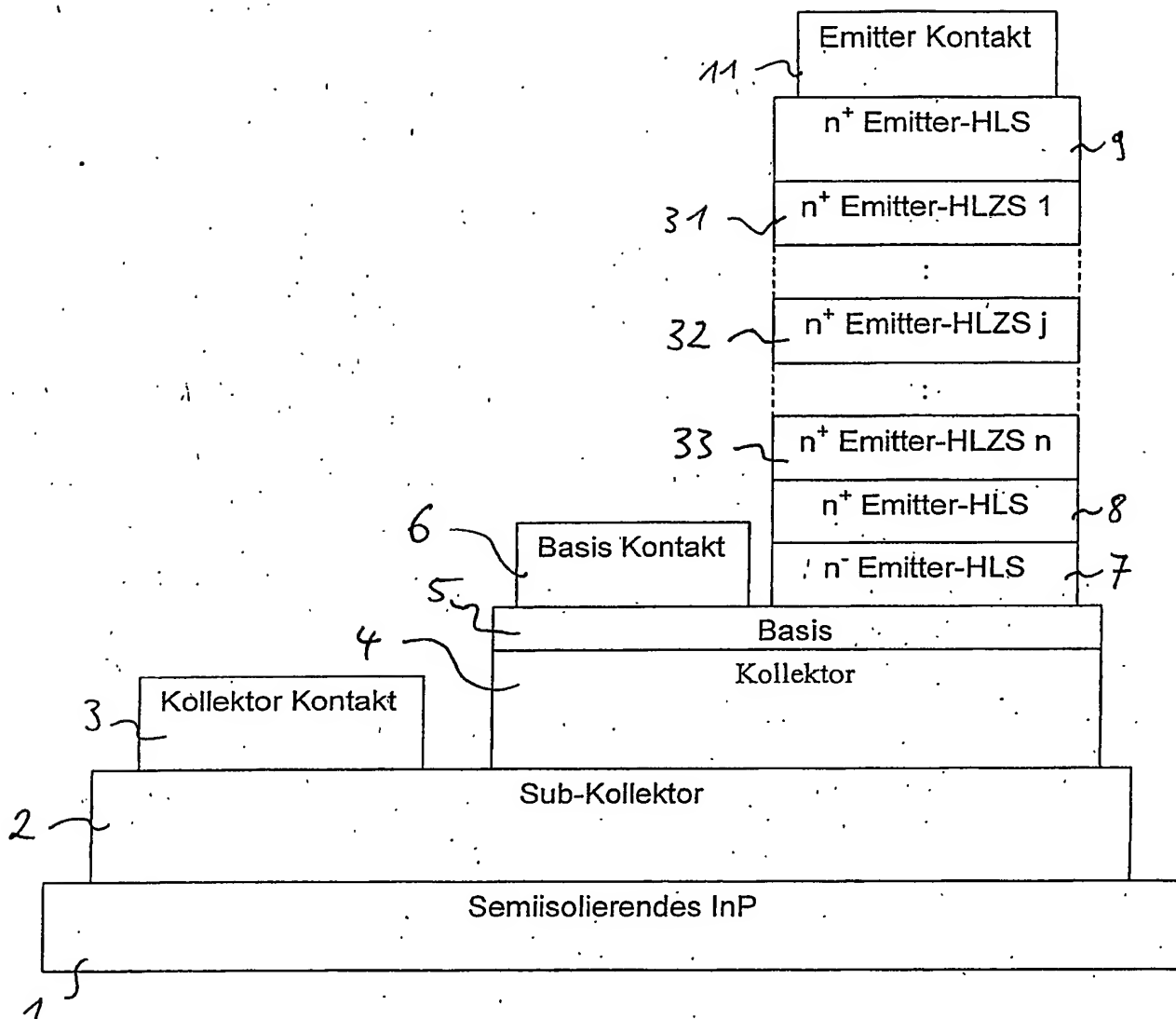


Fig. 4a

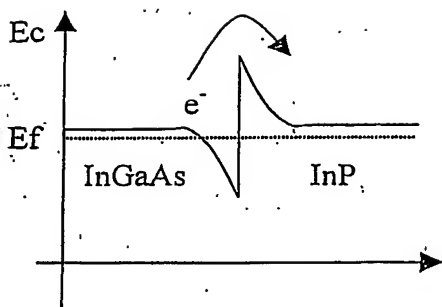


Fig. 4b

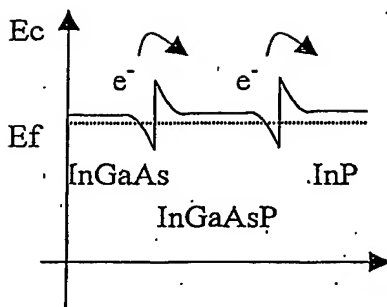
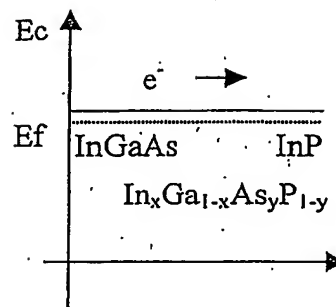


Fig. 4c



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.